

УДК 523.62

Отклик в потоках тепловых нейтронов на GLE-события

*Е.А. Сигаева¹, О.Ю. Нечаев¹, Н.Н. Володичев¹, М.И. Панасюк¹, А.В. Брунс²,
Б.М. Владимировский², О.А. Трошичев³*

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

³ Государственный научный центр Российской Федерации, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, С.-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 13 марта 2008 г.

Аннотация. В работе представлены результаты сравнительного анализа отклика тепловых нейтронов на одно из сильнейших наземных проявлений солнечных вспышек (Ground level enhancement (GLE)), зафиксированное 20 января 2005 года. На полярных станциях вариации космических лучей составили десятки раз по сравнению с фоновыми значениями, поток тепловых нейтронов в Антарктике вырос в несколько раз. В настоящей работе обсуждаются результаты временного и пространственного анализа потока тепловых нейтронов.

1 Введение

Длительные наблюдения вблизи земной коры показали, что потоки тепловых нейтронов обладают высокой чувствительностью по отношению к различным процессам и явлениям как в околоземном пространстве, так и в самой земной коре. Причина этого заключается в двойственной природе потока тепловых нейтронов вблизи земной поверхности (Кужевский и др., 2001). Первый источник нейтронов связан с высокоэнергичными частицами космических лучей, проникающих в земную атмосферу и взаимодействующих с ее элементами. Вторым источником являются радиоактивные газы, содержащиеся в земной коре. Вклад второго источника сильно зависит от многих специфических характеристик: местоположения точки наблюдения, характеристик подстилающей поверхности и геодинамического состояния земной коры. Первый источник (космического происхождения) обуславливает отклик потоков нейтронов на вариации потоков высокоэнергичных частиц вблизи Земли. В то же время изменения состояния околоземного космического пространства могут привести к активизации геодинамических процессов и деформациям земной коры, которые в свою очередь вызовут вариации потока тепловых нейтронов. Например, проведенный ранее анализ статистически подтвердил, что пересечения Землей секторных границ межпланетного магнитного поля (ММП) сопровождаются вариациями потока тепловых нейтронов (Кужевский и др., 2004).

2 Описание экспериментальных установок

Экспериментальные исследования потоков тепловых нейтронов вблизи земной коры проводятся уже в течение более десяти лет. Экспериментальные установки для регистрации тепловых нейтро-

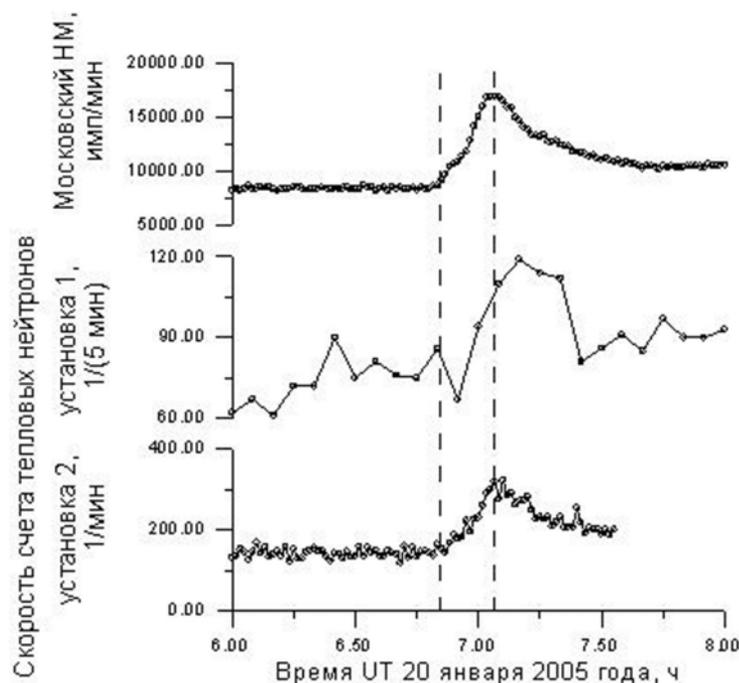


Рис. 1. Экспериментальные данные московского нейтронного монитора и мониторов тепловых нейтронов. Вертикальными пунктирными линиями отмечены моменты начала и максимума возрастания по данным московского НМ

нов состоят из стандартных нейтронных счетчиков СИ-19Н, наполненных гелием-3 под давлением 405.3 кПа. Регистрация нейтронов осуществляется посредством реакции:



Ее эффективность максимальна для тепловых нейтронов (0.8).

В настоящее время экспериментальные установки по регистрации потоков тепловых нейтронов установлены в различных точках земной поверхности. Устройство установок и их эксплуатация достаточно просты, благодаря этому их можно без особых сложностей модифицировать в зависимости от условий и целей конкретного эксперимента. Например, использование двух плоскостей стандартных счетчиков, разделенных листом кадмия толщиной 1 мм, позволяет проводить раздельную регистрацию потоков нейтронов из верхней и нижней полусфер, т. е. оценивать отдельно вклад источников космического и земного происхождения. Необходимо отметить, что количество нейтронных счетчиков различно для разных установок, кроме того, абсолютная величина потока тепловых нейтронов носит локальный характер и существенно меняется в зависимости от точки наблюдения, поэтому физический смысл имеет анализ не абсолютных величин потоков, а их относительных изменений.

3 Экспериментальные результаты события 20 января 2005 года

3.1 Данные сети нейтронных мониторов

GLE, зафиксированное 20 января 2005 года всемирной сетью станций нейтронных мониторов (НМ), сравнимо по своей амплитуде с мощнейшими событиями за весь период наблюдений, хотя оно произошло близко с минимуму 23-го цикла солнечной активности. Источником GLE послужила солнечная вспышка класса X7.1, начавшаяся 6:36 UT 20 января в области AR720 (N12 W58) (Вашенок

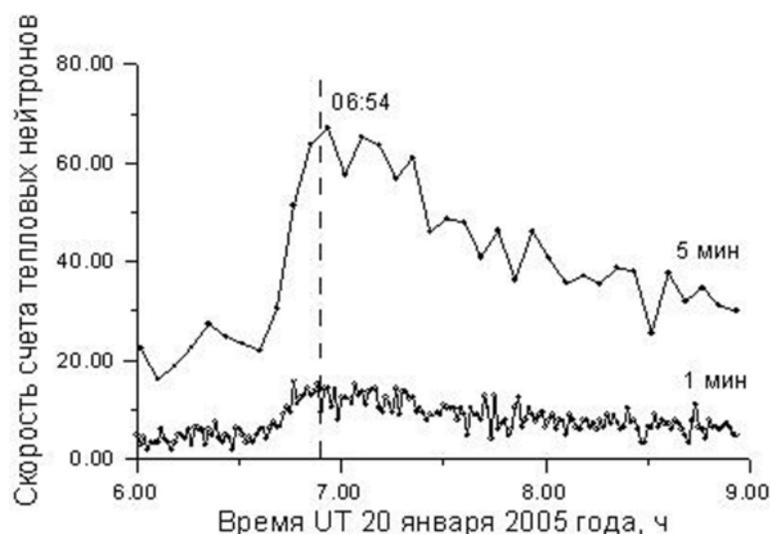


Рис. 2. Экспериментальные данные монитора тепловых нейтронов, расположенного в Антарктиде. Вертикальной пунктирной линией отмечен момент максимума возрастания по данным нейтронного монитора South Pole

и др., 2005). Во время наиболее мощного GLE-события за весь период наблюдений, которое было зафиксировано в 1956 году (Бибер и др., 2005), в некоторых областях вариации космических лучей возросли в 47 раз. Как видно из таблицы 1, величина вариации космических лучей 20 января 2005 года по данным нейтронных мониторов в Антарктиде на станции South Pole (на высоте 2820 м над уровнем моря) и McMurdo (на уровне моря) составила 56 и 30 раз по сравнению с уровнем фона соответственно. В то же время на большинстве высокоширотных станций зафиксированный эффект составил “только” 100–300 % от уровня фона, а для среднеширотных станций был еще меньше или вовсе отсутствовал.

Таблица 1. Данные нейтронных мониторов для события 20 января 2005 года

Название станции	Широта	Долгота	Максимальное возрастание	Время максимума, UT
S.Pole	90S	–	56X	6:53
McMurdo	77.9S	166.6E	30X	6:54
Inuvik	68.4N	133.7W	2.5X	7:05
Thule	76.5N	68.7W	2X	7:30
Sanae	71.67S	2.15W	2X	7:06, 7:23
Moscow	55.47N	37.32E	2X	7:04
Kiel	54.30N	10.10E	2X	7:05
Oulu	65.05N	25.47E	3X	7:00

Анализ экспериментальных данных сети нейтронных мониторов, проведенный с использованием анизотропных и сложных моделей вариаций солнечных космических лучей, показал, что поток первичных частиц, пришедших к Земле, характеризовался очень узким пучком и очень жестким спектром, а также высокой анизотропией и гораздо меньшим количеством высокоэнергичных частиц (>3 GeV) по сравнению с предыдущими мощными GLEs (1956 и 1989 годов) (Белов и др., 2005).

3.2 Данные мониторов тепловых нейтронов

В течение рассматриваемого периода времени наблюдения за потоками тепловых нейтронов вблизи земной коры проводились в нескольких точках: в Москве, на Камчатке, в Крыму и в Антарктиде. В таблице 2 приведены данные о координатах точек наблюдений и экспериментальные результаты измерения потоков тепловых нейтронов 20 января.

Таблица 2. Данные мониторов тепловых нейтронов для события 20 января 2005 года

Местоположение монитора	Широта	Долгота	Максимальное возрастание	Время максимума, UT
Антарктида	66.33S	93.01E	3.6X	6:55
Москва-2	55.7N	37.57E	2.3X	7:04
Москва-1	55.7N	37.57E	1.7X	7:09
Камчатка	52.83N	158.13E	–	–
Крым	44.4N	33.98E	–	–

Два московских монитора тепловых нейтронов представляют собой полностью независимые экспериментальные установки, разнесенные примерно на 1 км друг от друга. Установка Москва-1 расположена на третьем этаже кирпичного здания (около 20 м над поверхностью земли), а установка Москва-2 – на высоте около 10 м над поверхностью земли в здании с так называемой “тонкой крышей”, используемом для космофизических экспериментов.

4 Обсуждение

На рис. 1 представлены темп счета московского нейтронного монитора и двух мониторов тепловых нейтронов за 20 января 2005 года. Совпадение времени начала и максимума возрастания темпа счета со всех трех установок и амплитуды возрастания (в два раза по сравнению с уровнем фона) указывают на единую природу наблюдаемого эффекта. То есть в данном случае причиной возникновения вариации потока тепловых нейтронов послужили высокоэнергичные заряженные частицы, проникшие глубоко в земную атмосферу. Аналогичная информация, полученная из Антарктиды, представлена на рис. 2. Максимум возрастания на мониторе тепловых нейтронов был зафиксирован на 1–2 минуты позже, чем на большом нейтронном мониторе, а его амплитуда была значительно ниже.

Наблюдаемые различия между экспериментальными данными, полученными на больших нейтронных мониторах и мониторах тепловых нейтронов могут быть объяснены очень жестким спектром (что подтверждается данными спутника GOES, рис. 3) и высокой анизотропией приходящих частиц (Бибер и др., 2005а; Белов и др., 2005). По этим же причинам остальные мониторы тепловых нейтронов, работавшие в январе 2005 года в Крыму (44.4N, 33.98E) и на Камчатке (52.83N, 158.13E), не зафиксировали никаких значительных возрастаний. Кроме того, их невыгодное расположение усугубили неблагоприятные погодные условия, которые сильно влияют на потоки тепловых нейтронов. В течение проведения экспериментов по регистрации тепловых нейтронов вблизи земной коры наблюдалось несколько солнечных вспышек, даже более мощных, чем 20 января 2005 года (15/04/2001 – X17.2, 28/10/2003 – X17.2). Однако наземные проявления этих вспышек были значительно слабее (например, для вспышки 15 апреля 2001 года максимальная амплитуда GLE была зарегистрирована на станции Nain – около 120 % от уровня фона (Бибер и др., 2004), а для знаменитого события 29 октября 2003 года – на станции McMurdo – около 40 % (Бибер и др., 2005b)). И это также является объяснением того, почему событие 20 января 2005 года стало единственным (на сегодняшний день), сопровождаемым вариациями потока тепловых нейтронов вблизи земной коры.

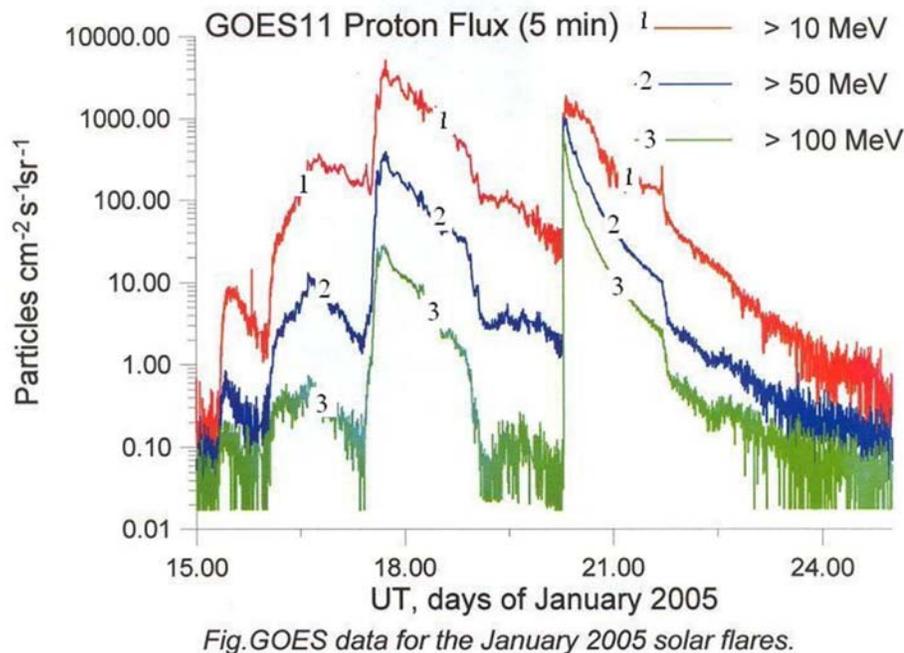


Рис. 3. Потоки протонов по данным спутника GOES за январь 2005 года

5 Заключение

Событие 20 января 2005 года стало первым и на сегодняшний день единственным событием, которое сопровождалось четким откликом в потоке тепловых нейтронов вблизи земной коры. Совпадение времени начала и максимума возрастаний по показаниям нейтронных мониторов и мониторов тепловых нейтронов указывает на то, что причиной обоих возрастаний послужили высокоэнергичные заряженные частицы от солнечной вспышки, проникшие в земную атмосферу. Тот факт, что событие GLE 20 января 2005 года стало первым событием за более чем десятилетний период регистрации потоков тепловых нейтронов вблизи земной коры, может быть объяснен уникальностью данной солнечной вспышки: высокой степенью анизотропии и очень жестким спектром.

Благодарности. Настоящая работа поддержана грантом РФФИ № 05-05-65267. Нейтронные мониторы BRI поддержаны грантом Национального научного фонда США (NSF) ATM-0527878.

Литература

- Бибер и др. (Bieber J.W., Clem J., Evenson P., Pyle R., Duldig M., Humble J., Ruffolo D., Rujiwarodom M., Saiz A.) // Proceedings of the 29th International Cosmic Rays Conference. Pune. 2005a. V. 1. P. 237.
- Бибер и др. (Bieber J.W., Clem J., Evenson P., Pyle R.) // Geophys. Res. Lett. 2005b. V. 32. P. L03S02.
- Бибер и др. (Bieber J.W., Evenson P., Droge W., Pyle R.) // Astrophys. J. 2004. V. 601(1). P. 103.
- Белов и др. (Belov A.V., Eroshenko E.A., Mavromichalaki H., Plainaki C., Yanke V.G.) // Proceedings of the 29th International Cosmic Rays Conference. Pune. 2005. V. 1. P. 189.
- Вашенюк и др. (Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Karpov S.N., Yanke V.G., Eroshenko E.A., Belov A.V., Gushchina R.T.) // Proceedings of the 29th International Cosmic Rays Conference. Pune. 2005. V. 1. P. 209.

- Кужевский и др (Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu., Panasyuk M.I., Sigaeva E.A., Volodichev N.N.)
// Proceedings of the 5th International Conference "Problems of Geocosmos"./ Eds Kovtun A.A.,
Kubyshkina M.V., Semenov V.S., Sergeev V.A., Shashkanov V.A., Yanovskaya T.B. Spb. 2004. P. 226.
- Кужевский и др. (Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu., Panasyuk M.I., Sigaeva E.A., Volodichev N.N.,
Zakharov V.A.) // The Journal of the Korean Association for Radiation Protection. 2001. V. 26(3).
P. 315.